

บทที่ 6

การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

6.1 วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ของการทดสอบเพื่อพัฒนาเกณฑ์การแตกของตัวอย่างเกลือหินภายใต้การผันแปรของอุณหภูมิและความดันล้อมรอบโดยอาศัยแนวคิดของการกักเก็บพลังงาน ความเครียดในตัวอย่างเกลือหินก่อนเกิดการวิบัติ ซึ่งพลังงานความเครียดนี้จะพิจารณาทั้งพลังงานกล (ความเค้นที่ให้กับตัวอย่างเกลือหิน) และพลังงานความร้อน

6.2 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อความแข็งและความยืดหยุ่นของเกลือหิน

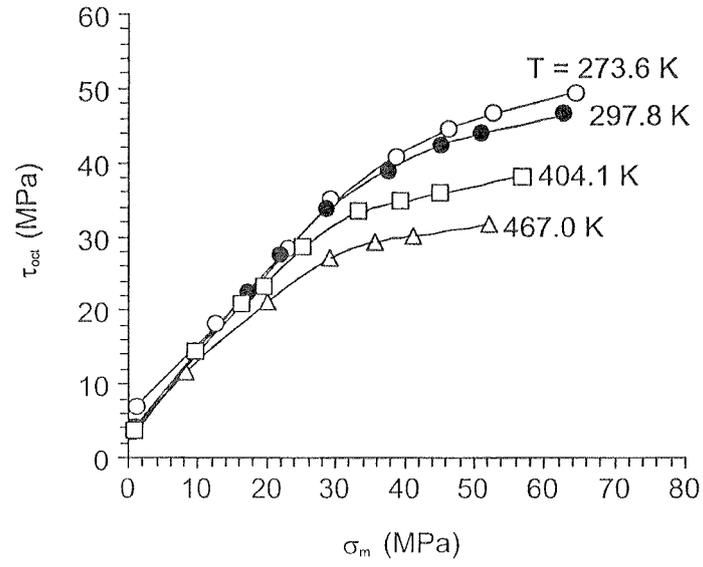
ตารางที่ 6.1 เสนอผลการทดสอบในรูปของความเค้นเฉือนในสามมิติ ความเค้นเฉื่อย ปัจจัยความยืดหยุ่น พลังงานความเครียดเบี่ยงเบน และพลังงานความเครียดเฉื่อย ซึ่งค่าทั้งหมดนี้สามารถคำนวณจากค่าความเค้นและความเครียดที่จุดวิบัติสำหรับแต่ละตัวอย่างเกลือหิน รูปที่ 6.1 แสดงความเค้นเฉือนในสามมิติในฟังก์ชันของความเครียดเฉื่อย ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความเค้นเฉือนในสามมิติที่สามารถทำให้เกลือหินเกิดการวิบัติจะมีค่าลดลง นอกจากนี้แผนภูมิในรูปที่ 6.1 ยังแสดงถึงความสัมพันธ์ที่ไม่เป็นเส้นตรงระหว่างความเค้นเฉือนและความเค้นเฉื่อย ผลการทดสอบสามารถแสดงในแผนภูมิความเค้นเฉือนในฟังก์ชันของความเค้นในแนวตั้งในสองมิติได้ดังแสดงในรูปที่ 6.2 ซึ่งแผนภูมินี้สามารถนำมาคำนวณค่าความเค้นยึดติด (Cohesion) และค่ามุมเสียดทานภายใน (Friction angle) ซึ่งผลที่ได้ระบุว่าทั้งค่าความเค้นยึดติดและค่ามุมเสียดทานภายในจะมีค่าลดลงเป็นเชิงเส้นตรงเมื่ออุณหภูมิของตัวอย่างเกลือหินเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 6.3

จากผลการทดสอบในบทที่ 5 สามารถคำนวณปัจจัยความยืดหยุ่นจากความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดในสามแกนโดยสมมติให้ตัวอย่างเกลือหินมีคุณสมบัติยืดหยุ่นเชิงเส้นตรง รูปที่ 6.4 แสดงผลการคำนวณดังกล่าว ซึ่งระบุว่าค่าปัจจัยความยืดหยุ่นจะมีค่าลดลงเป็นเชิงเส้นตรงเมื่ออุณหภูมิของตัวอย่างเกลือหินมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าปัจจัยความยืดหยุ่นเหล่านี้ได้แก่สัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่น (E) สัมประสิทธิ์ความแข็ง (G) สัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่นแบบก้อน (K) และค่าอัตราส่วนของปัวร์ซอง (ν)

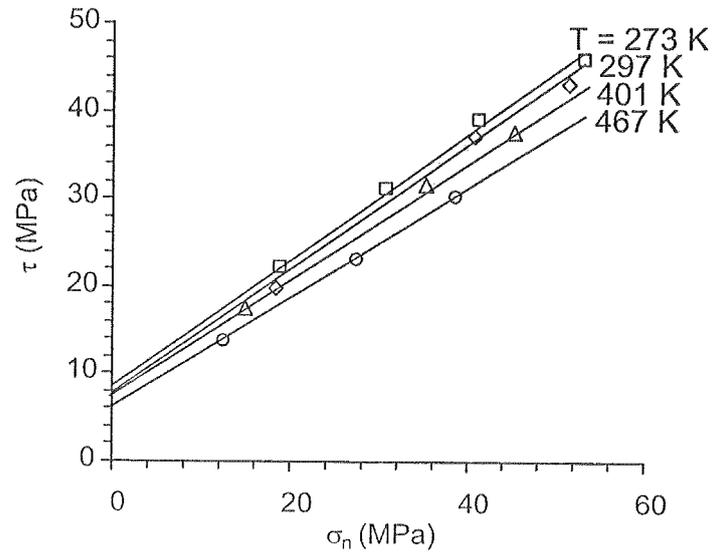
ความเค้นและความเครียดเฉือนที่จุดวิบัติและสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่นดังกล่าวข้างต้นที่สัมพันธ์กับการผันแปรของอุณหภูมิจะนำมาใช้ในการสร้างเกณฑ์การแตกของเกลือหิน

ตารางที่ 6.1 ค่าคุณสมบัติความยืดหยุ่นและพลังงานความเครียดของเกลือหินที่จุดแตก

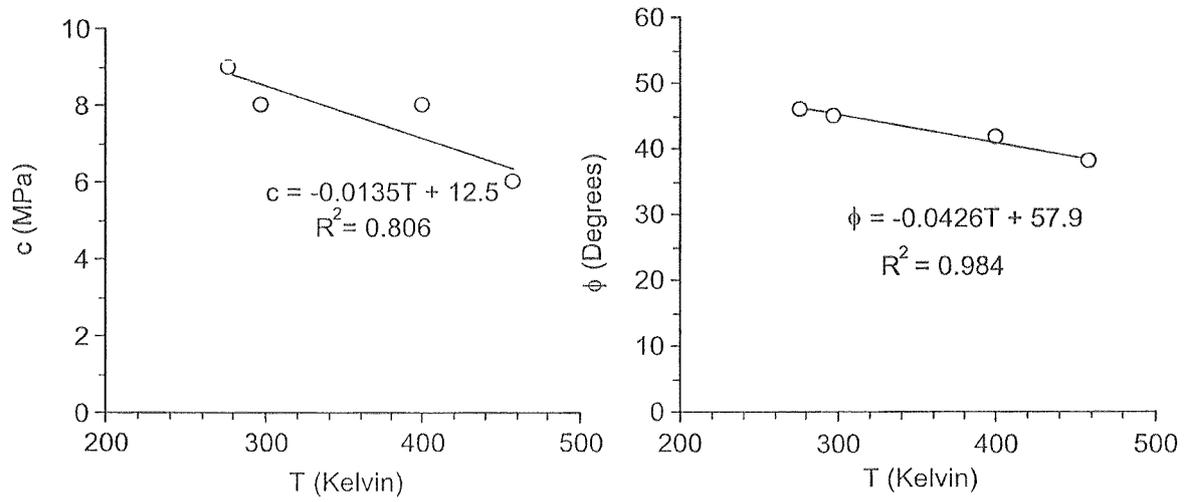
T_{avg} (Kelvin)	σ_m (MPa)	τ_{oct} (MPa)	E (GPa)	ν	G (GPa)	K (GPa)	W_d (MPa)	W_m (MPa)
274	23.2	28.6	27.1	0.38	9.8	37.6	-	-
	29.3	34.4	29.1	0.42	10.2	60.6	-	-
	38.9	40.8	28.7	0.32	10.9	26.6	893.6	700.0
	46.5	44.5	29.1	0.34	10.9	30.3	1368.6	1000.0
	52.9	46.5	27.1	0.37	9.9	34.7	1725.2	1300.0
	65.0	49.5	29.5	0.35	10.9	32.8	2242.2	1600.0
	Mean \pm SD		28.4 \pm 0.9	0.36 \pm 0.04	10.4 \pm 0.4	37.1 \pm 3.2		
298	17.4	22.3	21.0	-	-	-	-	-
	22.3	27.3	27.0	0.35	10.0	30.0	-	-
	28.9	33.8	26.8	0.36	9.9	31.9	935.6	600.0
	37.7	39.1	27.5	0.31	10.5	24.1	1158.5	750.0
	45.0	42.4	24.0	0.34	9.0	24.2	1458.0	970.0
	51.1	44.0	21.5	0.34	8.0	22.4	1944.0	1150.0
	62.8	46.4	26.4	0.37	9.6	33.8	2292.0	1500.0
	Mean \pm SD		25.5 \pm 2.1	0.34 \pm 0.02	9.5 \pm 0.8	27.8 \pm 4.8	-	-
404	16.4	20.9	18.7	-	-	-	-	-
	19.5	23.3	20.1	0.36	7.4	23.9	-	-
	25.2	28.6	22.3	0.42	8.1	31.0	940.4	413.5
	33.5	33.3	19.8	0.41	7.0	36.7	1479.6	800.0
	39.6	34.8	17.5	0.30	6.6	17.2	1779.4	979.3
	45.3	35.8	20.9	0.32	7.9	19.4	2100.0	1100.0
	57.0	38.2	21.1	0.35	7.8	23.4	2300.0	1300.0
	Mean \pm SD		20.0 \pm 1.5	0.37 \pm 0.05	7.5 \pm 0.5	25.3 \pm 7.3	-	-
467	20.0	21.2	17.5	0.36	6.4	20.8	935.6	350.0
	29.1	27.1	16.2	0.34	6.0	16.9	1158.5	400.0
	35.7	29.3	18.5	0.40	6.6	30.8	1458.0	650.0
	41.3	30.1	20.0	0.36	7.4	23.8	1944.0	955.0
	52.4	31.6	17.3	0.34	6.5	18.0	2292.0	1132.0
	Mean \pm SD		18.1 \pm 1.4	0.36 \pm 0.02	6.6 \pm 0.47	22.1 \pm 5.58	-	-



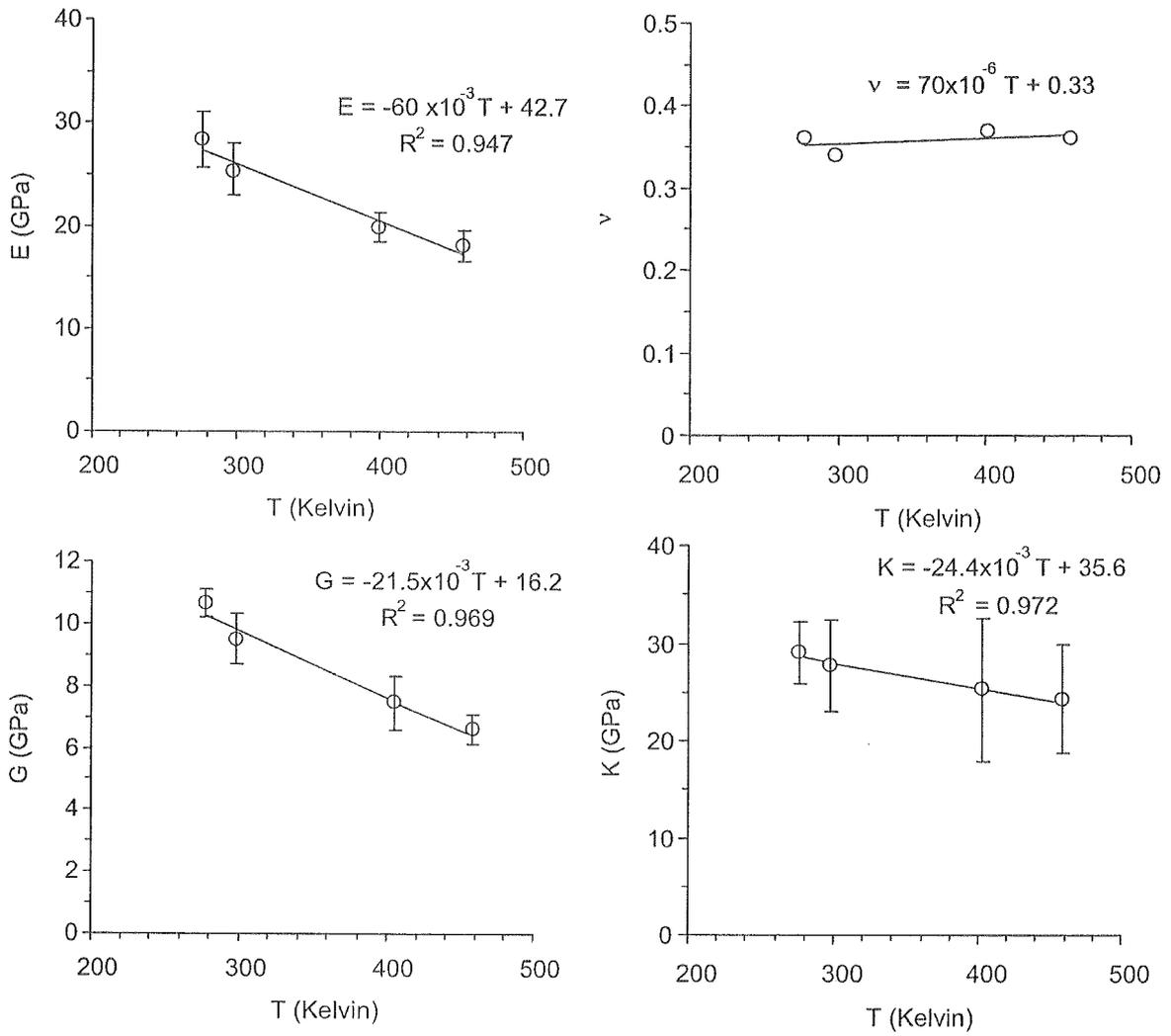
รูปที่ 6.1 ความเค้นเฉือนในสามมิติในฟังก์ชันของความเค้นเฉลี่ย



รูปที่ 6.2 ความเค้นเฉือนในฟังก์ชันของความเค้นตั้งฉาก



รูปที่ 6.3 ค่าความเค้นยึดติดและค่ามุมเสียดทานภายในในฟังก์ชันของอุณหภูมิ



รูปที่ 6.4 ปัจจัยความยืดหยุ่นในฟังก์ชันของอุณหภูมิ

6.3 การพัฒนาเกณฑ์การแตกของเกลือหิน

กฎของพลังงานความเครียดได้นำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้เพื่ออธิบายความแข็งแรงและการเปลี่ยนรูปร่างของตัวอย่างเกลือหินภายใต้อุณหภูมิที่ผันแปร โดยจะสมมติว่าภายใต้พลังงานความเครียดเฉลี่ยระดับหนึ่ง พลังงานความเครียดเบี่ยงเบนจะมีค่าคงที่ ผลจากการคำนวณเชิงสถิติระบุว่าพลังงานความเครียดเบี่ยงเบน (W_d) จะเพิ่มขึ้นเป็นเชิงเส้นตรงกับพลังงานความเครียดเฉลี่ย (W_m) ดังสมการ

$$W_d = A \cdot W_m + B$$

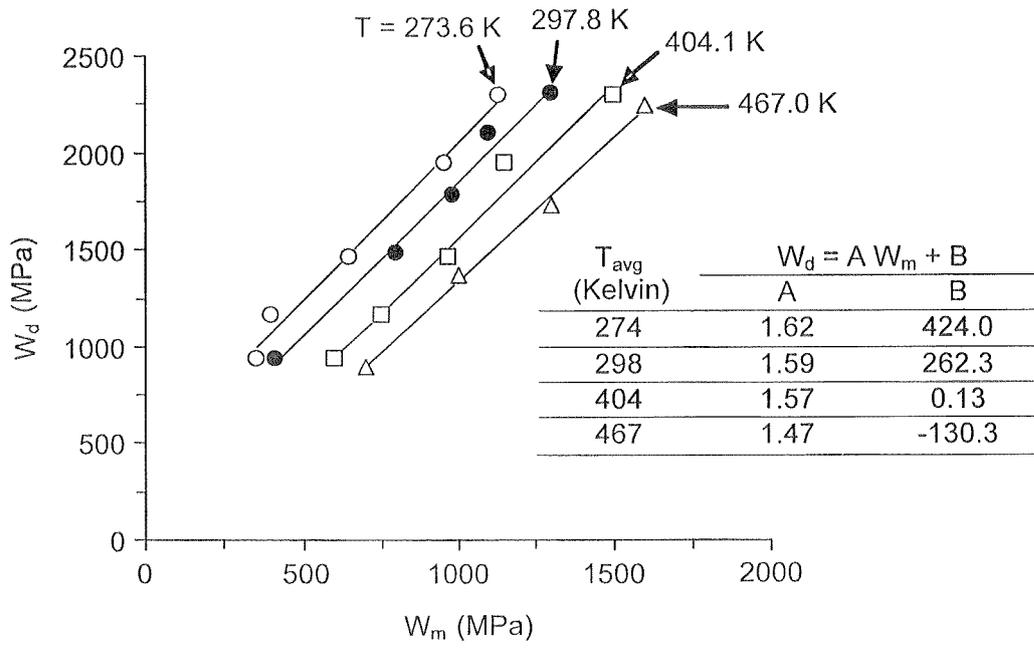
ค่าคงที่ A และ B จะขึ้นกับความแข็งแรงและความเครียดยึดติดของเกลือหินในแต่ละอุณหภูมิ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากการวิเคราะห์เชิงสถิติของผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 6.5 เป็นที่น่าสนใจว่าความสัมพันธ์ระหว่าง W_d และ W_m มีความคล้ายคลึงกันในประเด็นของอัตราการเพิ่มของค่า W_d ต่อค่า W_m (ความชัน) ที่พลังงานความเครียดเฉลี่ยระดับหนึ่ง อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะส่งผลให้ค่าพลังงานความเครียดเบี่ยงเบนมีค่าลดลง ความแตกต่างของเส้นพลังงานความเครียดในแต่ละอุณหภูมิสะท้อนให้เห็นถึงความแตกต่างของพลังงานความร้อนของตัวอย่างเกลือหินนั่นเอง

ถ้าสมมติให้เกลือหินมีคุณสมบัติยึดหยุ่นเชิงเส้นตรงก่อนเกิดการวิบัติค่า W_d และ W_m สามารถคำนวณจากผลการทดสอบในแต่ละตัวอย่างหินได้ และสามารถแสดงดังสมการ

$$W_d = \frac{3}{4} \left(\frac{\tau_{oct}^2}{G} \right) \quad (6.1)$$

$$W_m = \left(\frac{\sigma_m^2}{2K} \right) \quad (6.2)$$

โดยที่คุณสมบัติเชิงยึดหยุ่น G และ K สามารถคำนวณในฟังก์ชันของอุณหภูมิที่ใช้ทดสอบได้ ดังนั้น ความแข็งแรงของเกลือหินในรูปของพลังงานความเครียดเบี่ยงเบนจึงสามารถนำมาสัมพันธ์กับระดับอุณหภูมิที่ต่างกันได้ จากผลการทดสอบสามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติเชิงยึดหยุ่นต่างๆ กับการผันแปรของอุณหภูมิได้ ซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการ



รูปที่ 6.5 พลังงานความเครียดเบี่ยงเบนในฟังก์ชันของพลังงานความเครียดเฉลี่ย

$$E = -0.06T + 42.7 \quad (6.3)$$

$$G = -0.0215T + 16.2 \quad (6.4)$$

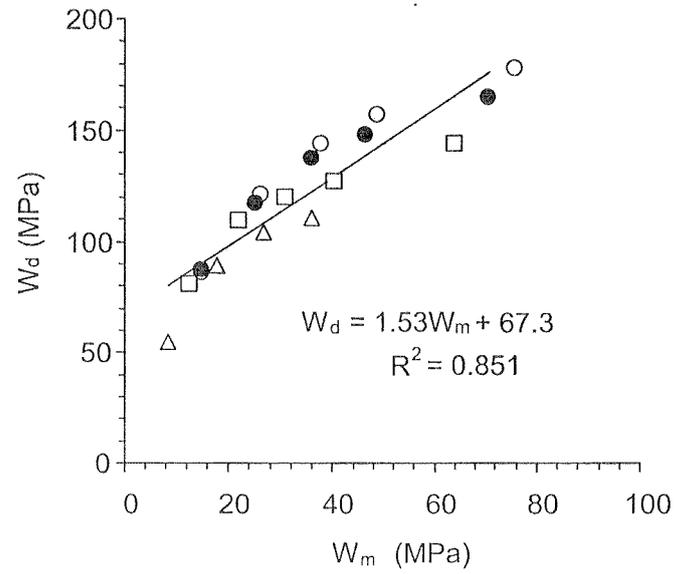
$$K = -0.0254T + 35.6 \quad (6.5)$$

$$v = (7 \times 10^{-6})T + 0.33 \quad (6.6)$$

โดยการแทนค่าสมการ (6.3) ถึงสมการ (6.6) ลงในสมการ (6.1) และ (6.2) ค่าพลังงานความเครียดเบี่ยงเบนที่จุดวิบัติควรจะคำนึงถึงผลกระทบของอุณหภูมิของตัวอย่างเกลือหินเพื่อให้อยู่ในเกณฑ์การแตก หลังจากการแทนค่าดังกล่าวข้างต้นค่าพลังงานความเครียดเบี่ยงเบนที่โดยรวมทั้งผลกระทบของอุณหภูมิและความดันรอบๆ สามารถแสดงอยู่ในสมการเดียวคือ

$$W_d = A_{Th} \cdot W_m + B_{Th} \quad (6.7)$$

โดยที่ค่า A_{Th} และ B_{Th} เป็นค่าคงที่ที่ขึ้นกับความแข็งและการตอบสนองต่ออุณหภูมิที่ผันแปรของเกลือหิน สำหรับเกลือหินชุดมหาสารคาม ค่า $A_{Th} = 1.53$ และค่า $B_{Th} = 63.7$ MPa เมื่อนำสมการดังกล่าวมาเทียบเคียงกับผลการทดสอบจะมีความสอดคล้องเป็นอย่างดี โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ของความสัมพันธ์ $R_2 = 0.851$ ดังแสดงในรูปที่ 6.6



รูปที่ 6.6 พลังงานความเครียดเบี่ยงเบนในฟังก์ชันของพลังงานความเครียดเฉลี่ย ที่ได้รวมผลกระทบของอุณหภูมิไว้แล้ว